

特願 2001-009587

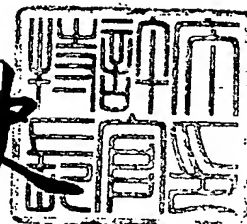
【書類名】 証明請求書
【あて先】 特許庁長官 殿
【事件の表示】
【出願番号】 特願2001- 9587
【請求人】
【識別番号】 100104411
【氏名又は名称】 矢口 太郎
【電話番号】 03-3230-1244
【連絡先】 担当 矢口 太郎
【証明に係る事項】
証明に係る書類名に記録した事項について相違ないことを証明してください。
【証明に係る書類名】 全部

【証明に係る事項】 の内容について相違ないことを証明します。

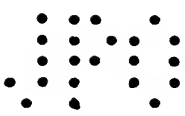
平成21年 4月 1日

特許庁長官

鈴木 隆史



出証番号 出証特2009-4000014



【書類名】 特許願

【整理番号】 A01-001

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B82B 3/00

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区南馬込 4 丁目 3 9 番 2 号

 【氏名】 高見 知秀

【特許出願人】

 【識別番号】 399014484

 【氏名又は名称】 ヴィジョンアーツ株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100110652

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩野谷 英城

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 069454

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

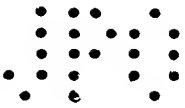
 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9911914

【プルーフの要否】 要



【書類名】 明細書

【発明の名称】 ナノファイバーおよびナノファイバーの作製方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 自己組織化を用いたナノファイバーの作製方法であって、
基板表面に、基板と同じ元素から構成される微結晶粒子を載置する工程と、
真空下で、基板の表面が融解する温度にまで前記基板を加熱する工程と、を有し、

前記基板表面は、結晶面であり、

前記加熱工程では、前記微結晶粒子を載置した前記結晶面に表面偏析を生じさせることにより、基板から供給された元素により複数のナノワイヤーを成長させ、茎状構造を有するナノファイバーを形成させることを特徴とする自己組織化を用いたナノファイバーの作製方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載のナノファイバーの作製方法であって、
前記基板を加熱する前に、真空下で、前記微結晶粒子を載置した基板表面に、該微結晶粒子と異なる元素から構成される金属を蒸着する工程を有し、

当該金属の蒸着は、少なくとも前記微結晶粒子が載置されていない前記結晶面に施されることを特徴とするナノファイバーの作製方法。

【請求項 3】 請求項 2 に記載のナノファイバーの作製方法であって、
前記基板に蒸着する金属は金であり、蒸着は 1 原子層とすることを特徴とするナノファイバーの作製方法。

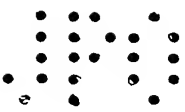
【請求項 4】 請求項 1 乃至請求項 3 に記載のナノファイバーの作製方法であって、

前記加熱工程の後に基板温度を下げる除熱工程を有し、

当該除熱工程の後にさらに前記加熱工程を設けることを特徴とするナノファイバーの作製方法。

【請求項 5】 シリコンからなる複数のナノワイヤーを備え、当該ナノワイヤーを同一方向に沿って束ね、断面形状が茎状となるようにナノワイヤー間に間隙を設けたことを特徴とするナノファイバー。

【請求項 6】 請求項 5 に記載のナノファイバーであって、



前記ナノファイバーは、直径が小さくなくびれ状の節部を有することを特徴とするナノファイバー。

【請求項 7】 自己組織化を用いたナノファイバーの作製方法であって、基板表面に、基板と異なる元素から構成される金属を蒸着する工程と、真空下で、基板の表面が融解する温度にまで基板を加熱する工程と、を有し、前記金属は金であり、蒸着は 1 原子層とするものであって、前記加熱工程では、前記金を蒸発させるとともに、基板から供給された元素により複数のナノワイヤーを成長させ、茎状構造を有するナノファイバーを形成させることを特徴とする自己組織化を用いたナノファイバーの作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ナノファイバーおよびナノファイバーの作製方法に係り、特に、基板を用いて形成するナノファイバーおよびナノファイバーの作製方法に関する。

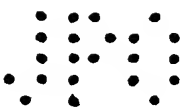
【0002】

【従来の技術】

近年、数ナノメートル (10^{-9} m) オーダーの極小構造体として、カーボンナノチューブ (S. Iijima, Nature 354 (1991) 56.) が発見されて以来、再び、既に発見されていたシリコン (Si) やゲルマニウム (Ge) などの微小構造体に注目が集まっている。従来の金属系の微小構造体としては、棒状のシリコン結晶 (R.S.Wagner, W.C.Ellis, Appl. Phys. Lett. 4 (1964) 89.) や、折れ曲がったシリコンウイスカまたは円錐形状のゲルマニウムウイスカ (G.A.Boostma, H.J.Gassen, J. Cryst. Growth. 10 (1971) 223.)、および、ガリウム砒素 (GaAs) ウイスカ (E.I.Givargizov, J. Cryst. Growth. 32 (1975) 20.) などのナノ構造体などが挙げられる。

【0003】

これらのナノチューブやナノ構造体はエミッター材料や超微細デバイス材料など、工業的な応用性が極めて高く、これからの「ナノテクノロジー」を支えていく重要な材料として期待されている。



【0004】

【発明が解決しようとする課題】

上述した論文によると、従来の半導体となるようなシリコンやゲルマニウムなどのナノ構造体は、蒸着?液相?固相(Vapor - Liquid - Solid、以下、VLSとする)反応を用いて作製されている。さらに、近年では、金属を含む半導体材料を原料としてレーザーアブレーションによるシリコンナノワイヤーの作製方法も開発されている(Y.F.Zhang et al., Appl. Phys. Lett. 72 (1998) 1835.)。

【0005】

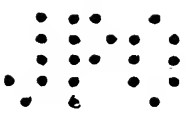
しかし、これらの方法で作製したナノワイヤーは配向成長制御が難しく、ウール状の構造体となり、特定の軸方向に沿った複数のナノワイヤーから構成されるナノファイバーを作製するのは困難である。このため、微小な電子デバイスに用いる材料として適した形状のナノファイバーの入手が難しいという不都合があった。

【0006】

一方、近年では、配向制御したナノファイバーの作製法も開発され、例えば炭化ケイ素の上に配向したカーボンナノチューブも作製されている(M. Kusunoki et al., Phil. Mag. Lett., 79, 153-161 (1999).)。これは、SiCウエハー表面における化学分解反応を利用したものであり、ウエハー表面の酸化にともない生成されたSiOガス分子が気泡化するときに、残留したカーボンの結晶構造が変わり、カーボンナノチューブ膜として再構成される。しかし、この方法では、「霜柱」のようにたくさんのカーボンナノチューブを生産し、膜状とすることはできるが、基板からSi原子を除去するという思想に基づくものであり、対象となるカーボンナノチューブを基板上で成長させるものではない。また、大量生産を念頭に大面積にわたり作製するものであり、ナノチューブを所望の単位でファイバー化できるように、局所的に作製するといった制御を想起することは困難である。したがって、多少の配向制御はできても、希望の径および長さを有するナノファイバーを作製する方法を示唆するものではないという不都合があった。

【0007】

【発明の目的】



本発明では、かかる従来技術の有する不都合を改善し、特に、VLS反応を用いたCVD法ではウール状になってしまい実現が困難であった、成長方向の揃った複数のナノワイヤーから構成されるナノファイバーおよびそのナノファイバーの作製方法を提供することを目的とする。また、基板上の希望する箇所にウール状とならないナノファイバーを作製する方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、請求項1に記載の発明では、自己組織化を用いたナノファイバーの作製方法であって、基板表面に、基板と同じ元素から構成される微結晶粒子を載置する工程と、真空下で、基板の表面が融解する温度にまで前記基板を加熱する工程と、を有する。そして、前述した基板表面は、結晶面であり、また、前述した加熱工程では、微結晶粒子を載置した結晶面に表面偏析を生じさせることにより、基板から供給された元素により複数のナノワイヤーを成長させ、莖状構造を有するナノファイバーを形成させる。

【0009】

ここで、「結晶面」とは、原子が規則的に配列された一定の原子面をいい、結晶学的にはミラー指数により記述される。

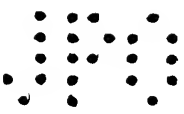
【0010】

本発明によると、微結晶粒子を成長核とすることにより、ナノワイヤーを自己組織化により形成させる箇所を特定することができるとともに、ナノワイヤーの自己組織化による成長方向をほぼ一様に揃えることができ、特定の軸方向に沿った複数のナノワイヤーから構成されるナノファイバーを作製できる。

【0011】

また、請求項2に記載の発明では、請求項1に記載のナノファイバーの作製方法であって、前述した基板を加熱する前に、真空下で、微結晶粒子を載置した基板表面に、その微結晶粒子と異なる元素から構成される金属を蒸着する工程を有する。そして、金属の蒸着は、少なくとも微結晶粒子が載置されていない結晶面に施される。

【0012】



本発明によると、金属がサーファクタントとして機能するので、ナノワイヤーの成長を促進させることができる。

【0013】

また、請求項3に記載の発明では、請求項2に記載のナノファイバーの作製方法であって、基板に蒸着する金属は金であり、蒸着は1原子層とする。

【0014】

本発明によると、金がサーファクタントとしての機能だけでなく、基板の結晶面側に付着した酸化物や炭化物等の除去、および酸化物等の発生の抑制という機能を呈するので、ナノワイヤーの成長方向に影響を与える因子を減らすことができ、成長方向の均一化を向上させることが可能である。

【0015】

また、請求項4に記載の発明では、請求項1乃至請求項3に記載のナノファイバーの作製方法であって、前述した加熱工程の後に基板温度を下げる除熱工程を有し、その除熱工程の後にさらに加熱工程を設ける。

【0016】

本発明によると、ナノファイバーに節部を形成することができる。

【0017】

また、請求項5に記載の発明では、シリコンからなる複数のナノワイヤーを備え、これらのナノワイヤーを同一方向に沿って束ね、断面形状が茎状となるようにナノワイヤー間に間隙を設けた構成のナノファイバーを採用する。

【0018】

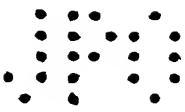
本発明によると、方向性のそろったナノワイヤーから構成されるので、アスペクト比の高いナノファイバーを実現できる。

【0019】

また、請求項6に記載の発明では、請求項5に記載のナノファイバーであって、そのナノファイバーは、直径が小さくなったくびれ状の節部を有する構成を採用する。

【0020】

本発明によると、節部がナノワイヤーをナノファイバーとして束ねるバインド



効果を発揮し、ナノファイバーの強度が向上する。

【0021】

また、請求項7に記載の発明では、自己組織化を用いたナノファイバーの作製方法であって、基板表面に、基板と異なる元素から構成される金属を蒸着する工程と、真空下で、基板の表面が融解する温度にまで基板を加熱する工程と、を有する。ここで、蒸着する金属は金であり、蒸着は1原子層とする。そして、加熱工程では、蒸着させた金を蒸発させるとともに、基板から供給された元素により複数のナノワイヤーを成長させ、茎状構造を有するナノファイバーを形成させる。

【0022】

本発明によると、ナノファイバー形成時に障害となる酸化物等が、ナノワイヤーの自己組織化の際に基板表面に残留するのを抑制することができる。

以上により、前述した目的を達成しようとするものである。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施形態を図1乃至図3を用いて本発明を説明する。

【0024】

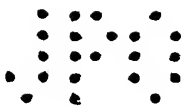
図1は、本発明に係るナノファイバーの作製方法の一実施形態を示す概略斜視図である。図1において、基板1は、ナノワイヤー5を成長させナノファイバー4を形成する結晶面を備えるものであり、作製したいナノファイバー4の元素と同じ元素から構成した。また、微結晶粒子2は、ナノファイバー4の成長核として用いた。ここで、図1(a)に微結晶粒子2の載置工程を示し、図1(b)に金属3の蒸着工程を示し、図1(c)に加熱工程を示す。

【0025】

まず、本発明の主要な作製工程について説明する。

【0026】

本発明に係るナノファイバー4の作製方法は、自己組織化を用いたものであり、基板1の表面に、基板1と同じ元素から構成される微結晶粒子2を載置する工程と、真空下で、基板1の表面が融解する温度にまで基板1を加熱する工程と、



を有することを必須とする。ここで、基板 1 の表面は、原子が規則的に配列された結晶面である。また、加熱工程では、微結晶粒子 2 を載置した結晶面に表面偏析を生じさせることにより、基板 1 の融解した表面領域から供給された元素により複数のナノワイヤー 5 を成長させ、茎状構造を有するナノファイバー 4 を形成させるものである。

【0027】

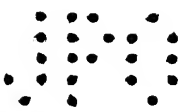
この作製方法は、三次元の結晶を加熱した場合に、結晶内に存在する不純物などの異種物が、結晶の界面に偏析する現象にアイデアを得たものである。すなわち、第一段階として、基板 1 の表面が規則的に原子を配列させた結晶面となるようにした上で、この基板 1 の表面に微結晶粒子 2 を載置することにより、微結晶粒子 2 が載置された領域のみに結晶界面を形成する。この状態で、基板 1 を基板表面が融解する温度にまで加熱することにより、結晶界面において表面偏析を生じさせ、基板 1 の表面に位置する元素を微結晶粒子 2 の存在する領域に集中させる。そして、融解により流動化した元素は、自己組織化により成長するナノワイヤー 5 に供給され、最終的にはナノワイヤー 5 の先端部 5 a で凝着する。このため、ナノワイヤー 5 が基板から突出する方向は、 $[111]$ 方向に沿ったものとなる。

【0028】

ここで、自己組織化とは、一般に、構造を発展させようとする因子と、抑制しようとする因子を制御することによって、与えられたある条件をそのまま保って組織化することをいう。上述した作製方法においては、構造を発展させようとする因子として、前述した加熱工程において、表面偏析に誘発された、基板 1 を構成する元素の微結晶粒子 2 への供給を設定した。また、抑制しようとする因子としては、基板 1 を構成する元素が、平衡位置を保持しようとする挙動、例えば、隣接する元素間の距離を一定に保持しようとする挙動を選択した。これらの因子は、加熱を中断することにより制御可能である。なお、与えられた条件としては、微結晶粒子 2 が載置された領域で凝着することを選択した。

【0029】

また、基板 1 の表面上には、理想固体の場合には存在しない点欠陥などが存在



するため、その点欠陥を成長核として、ナノワイヤー 5 が形成される可能性もある。しかし、点欠陥は、表面偏析を生じさせる誘発因子としては非常に弱いものであり、また、存在位置を自由に制御できないため、実用的ではない。このため、上述したように、基板 1 の結晶面側に微結晶粒子 2 を載置することにより、局所的な結晶粒界を形成させ、表面偏析を生じさせる誘発因子としている。

【0030】

上述した作製方法をさらに詳述する。作製に際して、ナノワイヤー 5 を成長させる基板 1 の材質は、シリコン単結晶とした（以下、シリコン基板という）。ここで、シリコン基板 1 は、表面積が $20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ である大きさとした。また、このシリコン基板 1 の表面は、シリコンの結晶配列が (111) 面となるように処理した。加えて、ナノファイバー 4 の成長核となる微結晶粒子 2 として、シリコン基板 1 と同じ元素で構成されるシリコン微結晶粒子を用いた。

【0031】

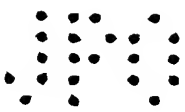
以下、載置工程、蒸着工程および加熱工程をそれぞれ図 1 を用いて具体的に説明する。

【0032】

まず、シリコン基板 1 にシリコン微結晶粒子 2 を載置する工程を説明する。図 1 (a) に示したように、シリコン基板 1 の (111) 面（結晶面）側のシリコンナノファイバー 4 を成長させたい箇所に、シリコン微結晶粒子 2 を載置した。ここで、成長核となるシリコン微結晶粒子 2 の大きさにより、成長するシリコンナノファイバーの直径や断面形状を制御することが可能である。例えば、シリコン微結晶粒子 2 の大きさとシリコンナノファイバー 4 の直径はほぼ等しくなり、また、シリコン微結晶粒子 2 の横断面形状にシリコンナノファイバー 4 の断面形状が近似しやすい。なお、シリコンナノファイバー 4 を構成するシリコンナノワイヤー 5 の単位断面面積あたりの数は、主として温度に依存するものであり、シリコン微結晶粒子 2 の大きさまたはシリコンナノファイバー 4 の直径に左右されない。

【0033】

続いて、上述したようなシリコン微結晶粒子 2 を複数載置する工程の後の工程



を説明する。シリコン基板 1 の加熱は、真空下において行うため、前述したシリコン微結晶粒子 2 を載置した状態のシリコン基板 1 を真空槽に導入する。真空槽にシリコン基板 1 を導入する際、真空槽内部の雰囲気は大気である。そして、シリコン基板 1 を真空槽内部に導入した後、 1×10^{-7} Pa 以下の超真空 (Ultra High Vacuum) となるまで真空槽内を減圧する。

【0034】

ここで、真空槽内の真空度は、真空槽内部の炭素 (C) などの残留ガスの分子が基板表面に付着すると仮定した場合に、シリコン基板 1 の (111) 面全体を覆うことがないように、少なくとも 1×10^{-4} Pa 以下とする。例えば、数 Torr (1 Torr は約 1×10^2 Pa) 程度だと、カーボンなどが残留し、基板 1 の表面で SiC や酸化物が形成されてしまい、シリコンナノワイヤー 5 の自己組織化を阻害する因子となり得るからである。

【0035】

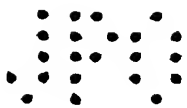
なお、シリコン基板 1 にシリコン微結晶粒子 2 を載置した後、加熱用の真空槽にシリコン基板 1 を導入するという手順に限られるものではなく、加熱装置内において、シリコン基板 1 にシリコン微結晶粒子 2 の載置を行うことができる装置を用いて、加熱装置内にシリコン基板 1 を導入後、真空としてもよいことは言うまでもない。

【0036】

次に、真空槽内を超真空とした後の工程を説明する。本実施形態では、シリコン基板 1 を加熱する前に、真空下で、微結晶粒子 2 を載置したシリコン基板 1 の表面に、シリコン微結晶粒子 2 と異なる元素から構成される金属 3 を蒸着する工程を設ける。ここで、金属 3 の蒸着は、少なくとも微結晶粒子 2 が載置されていない結晶面に施される。

【0037】

より詳細には、シリコン基板 1 を加熱する工程の前に、図 1 (b) に示したように、シリコン基板 1 の結晶面上に金属 3 を蒸着し、この金属 3 をサーファクタント (Surfactant) としてシリコンファイバー 4 を成長させるための蒸着工程を備える。ここで、サーファクタントとは、制御対象となる表面にある物質を供給



し、その供給した物質が表面を拡散することによって表面の状態を制御するが、このときに供給する物質をいう。サーファクタントとなる金属を蒸着することにより、加熱したときに、界面近傍、ここではシリコン基板 1 の結晶面であるが、この結晶面近傍のシリコン元素の表面偏析を促進することができる。

【0038】

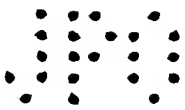
本実施形態では、シリコン基板 1 に蒸着する金属 3 に金 (Au) を使用した。そして、金の蒸着量を 1 原子層として、後述するように、加熱工程において、蒸着させた金を蒸発させるとともに、基板から供給された元素により複数のナノワイヤー 5 を成長させ、茎状構造を有するナノファイバー 4 を形成する。この蒸着量の確認は、表面に 6×6 構造が形成 (T. Takami and S. Ino, Jpn. J. Appl. Phys. 36 (1997) L815.) されたことを反射高速電子回折 (RHEED) を用いて観察することで行った。

【0039】

蒸着させる金属 3 として金を選択したのは、サーファクタントとしての機能だけでなく、シリコン基板 1 を加熱し、金を蒸発させることにより、シリコン基板の (111) 面に付着した残留カーボンの除去や、酸化物の形成の抑止または排除など、結晶面のクリーニングを行うことになるという機能を発揮するからである。したがって、シリコンナノワイヤー 5 の形成時に障害となる酸化物等が、シリコンナノワイヤー 5 の自己組織化の際に基板表面に残留するのを抑制することができる。

【0040】

また、1 原子層としたのは、1 原子層よりも厚くした場合、シリコン基板 1 との固相反応が生じ (Surface Science Reports, 3(1984), 113-180)、金が移動してシリコン基板 1 に固溶することとなるからである。すなわち、金に対して通常の真空蒸着を行った場合には、蒸着された金がシリコン基板 1 の (111) 面に吸着した後にシリコン基板内部に潜り込み、元の基板と比べ著しく劣るデバイス特性をもつようになるからである。したがって、金が固溶した場合には、十分な基板特性が得られないという不都合が生じるため、これを防ぐべく、1 原子層とした。

**【0041】**

ここで、結晶面に蒸着させる金属としては、真空下で、シリコン基板1の加熱時に蒸発するもの、すなわちシリコン基板1よりも真空下において沸点または昇華点が低いものが選択できる。例えば、金以外には銀などが挙げられるが、クリーニング効果の面からは金が最も適しているといえる。

【0042】

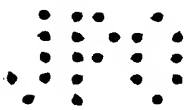
次に、図1(c)に示した加熱工程について説明する。シリコン基板1の加熱は、シリコン基板1に10Aの電流を流すことにより行う。加熱条件は、1000℃で200分とした。理由は次のとおりである。超真空下でのシリコンは、約800℃で表面融解を生じ、1350℃を超えるとすべて溶けることとなる。一方、シリコン基板1の(111)面に蒸着した金は、上述した固相反応が生じない場合は、真空下において800℃程度から融解が始まり、1000℃で蒸発する。このとき、前述したように金の蒸着を一原子層としているため、金とシリコンとの反応は生じず、サーファクタントとして機能した後、蒸発する。以上より、蒸着した金を蒸発させるとともに、シリコン基板1の表面領域のみを融解させる温度として、1000℃を加熱温度として設定した。

【0043】

ここで、シリコン基板1は真空槽内にあるため、シリコン基板1の表面の温度は、赤外線放射温度計により測定し、この測定結果に基づき加熱温度を一定に保つ方式を採用した。そして、加熱することにより、シリコンナノワイヤー5の自己組織化を促して成長させ、複数のシリコンナノワイヤー5によりシリコンナノファイバー4を形成させる。なお、加熱時の真空度は最大で 6×10^{-5} Paであった。

【0044】

加熱時のシリコンナノワイヤー5の自己組織化メカニズムについて説明する。図2は、上述した加熱工程において形成されるシリコンナノワイヤー5を示す概略模式図である。図2(a)は、シリコンナノワイヤー5から構成されるシリコンナノファイバー4の横断面を示す概略図であり、図2(b)は、図2(a)のA-A方向からみたシリコンナノファイバー4の縦断面を示す概略図である。



【0045】

前述したように、シリコン微結晶粒子2が載置された部分に、そのシリコン微結晶粒子2の直径に応じてシリコンナノファイバー4が形成される。このとき、図2(a)に示したように、複数のシリコンナノワイヤー5が相互に隣接して形成される。ただし、シリコンはダイヤモンドと同様の結晶構造を有するため、三次元的には最密充填構造とならない。

【0046】

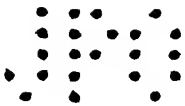
ここで、シリコンナノワイヤー5の自己組織化を用いた成長過程を説明する。図2(b)に示したように、シリコン基板1の表面1aが加熱により融解するが、この液状化したシリコンがシリコンナノワイヤー5の間を毛細管力により上昇していく。この液状化したシリコンが、シリコンナノワイヤー5の先端部5aに達した後、先端部5aで凝着する。この過程を繰り返すことによりシリコンナノワイヤー5が成長し、ひいてはシリコンナノファイバー4が形成される。このようにして作製することにより、シリコンからなる複数のナノワイヤー5を備え、これらナノワイヤー5を同一方向に沿って束ね、断面形状が茎状となるようにナノワイヤー5間に間隙を設けた構造のナノファイバー4が得られた。

【0047】

そして、加熱時間に応じてシリコンナノファイバー4は成長するため、所望の長さにシリコンナノファイバー4が成長するまで、加熱工程を継続することとなる。この加熱工程は、シリコン基板1に電流を流すのを止めることにより終了する。電流を流すのを止めると、電流を止めてから1秒で約120℃から130℃、約1分で50℃にまで下がった。

【0048】

ここで、本実施形態では、前述した加熱工程の後に基板温度を下げる除熱工程を設け、この除熱工程の後にさらに加熱工程を設けた。より詳細には、前述したように200分加熱した後、電流を流すのを中断して、シリコン基板1の除熱工程とし、再度加熱を行う断続加熱を行った。加熱を止めた後の除熱放置時間は15分とした。このときの真空度は、 5×10^{-7} Paであった。その後、再度60分間の加熱工程を行った。加熱終了時の真空度は、 4×10^{-6} Paであった。



。

【0049】

図3に、加熱工程の後に除熱工程を設け、再度加熱工程を施した場合に得られたシリコンナノファイバー4の電子顕微鏡写真を示す。断続加熱をした場合、図3に示したように、シリコンナノファイバー4は直径が小さい節を有する構成となる。この節を形成したくない場合は、除熱工程の後、真空槽からシリコン基板1を取り出すこととなる。なお、図3において、環状となって見えているのは、融解にともないナノファイバー4に表面のシリコンを供給した領域と、供給しなかった領域との境界である。

【0050】

なお、複数のシリコンナノワイヤー5をシリコンナノファイバー4として束ねるバインダーとして機能するのは、外周部に位置するシリコンナノワイヤー5であり、相互に融着または凝着することによりこれを達成している。これに、上述した節部を作製することにより、バインド効果が上がり、強度が向上する。

【0051】

ここで、以上述べた実施形態においては、各工程において真空度が異なるものとなったが、可能であれば均一とすることが望ましい。

【0052】

【発明の効果】

本発明は、以上のように構成され、機能するので、これによると、請求項1に記載の発明では、微結晶粒子を成長核とすることにより、ナノワイヤーを自己組織化により形成させる箇所を特定することができるとともに、ナノワイヤーの自己組織化による成長方向を一様にすることができ、特定の軸方向に沿った複数のナノワイヤーから構成されるナノファイバーを作製できる。

【0053】

また、請求項2に記載の発明では、蒸着させた金属がサーファクタントとして機能するので、ナノワイヤーの成長を促進させることができる。

【0054】

また、請求項3に記載の発明では、蒸着させた金がサーファクタントとしての

機能だけでなく、基板の結晶面側に付着した酸化物等の除去、および酸化物等の発生の抑制という機能を呈するので、ナノワイヤーの成長方向に影響を与える因子を減らすことができ、成長方向の均一化を向上させることが可能である。

【0055】

また、請求項4に記載の発明では、ナノファイバーの任意の場所に節部を形成することができる。

【0056】

また、請求項5に記載の発明では、方向性のそろったナノワイヤーから構成されるので、アスペクト比の高いナノファイバーを実現できる。

【0057】

また、請求項6に記載の発明では、節部がナノワイヤーをナノファイバーとして束ねるバインド効果を発揮し、ナノファイバーの強度が向上する。

【0058】

また、請求項7に記載の発明では、ナノファイバー形成時に障害となる酸化物等が、ナノワイヤーの自己組織化の際に基板表面に残留するのを抑制することができ、配向性のよいナノワイヤーからなるナノファイバーを提供できる。

【図面の簡単な説明】

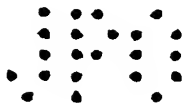
【図1】 図1は、本発明に係るナノファイバーの作製方法の一実施形態を示す概略斜視図である。図1(a)に微結晶粒子の載置工程を示し、図1(b)に金属の蒸着工程を示し、図1(c)に加熱工程を示す。

【図2】 図2は、図1に示した加熱工程において形成されるシリコンナノワイヤーを示す概略模式図である。図2(a)は、シリコンナノワイヤーから構成されるシリコンナノファイバーの横断面を示す概略図であり、図2(b)は、図2(a)のA-A方向からみたシリコンナノファイバーの縦断面を示す概略図である。

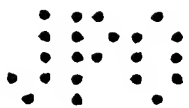
【図3】 図3は、加熱工程の後に除熱工程を設け、再度加熱工程を施した場合に得られたシリコンナノファイバーを示す電子顕微鏡写真である。

【符号の説明】

1 シリコン基板



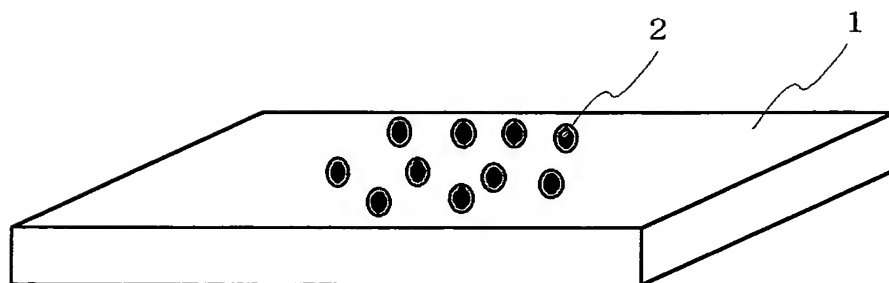
- 1 a シリコン基板結晶面側の表面
- 2 シリコン微結晶粒子
- 3 金属
- 4 シリコンナノファイバー
- 5 シリコンナノワイヤー
- 5 a シリコンナノワイヤー先端部



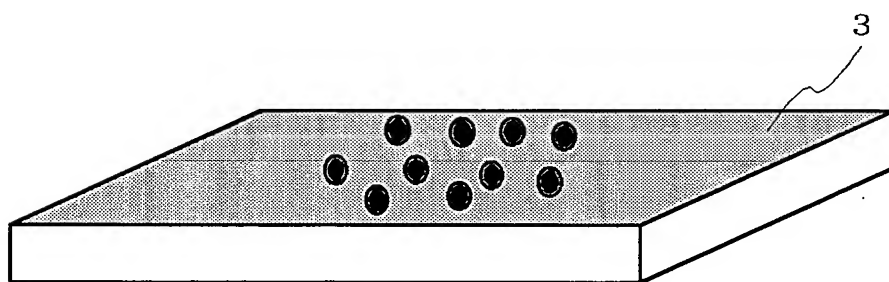
【書類名】 図面

【図 1】

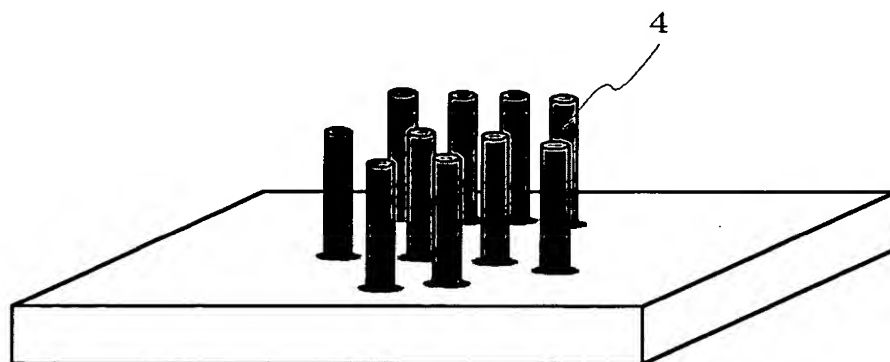
(a)

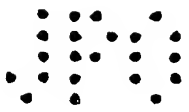


(b)

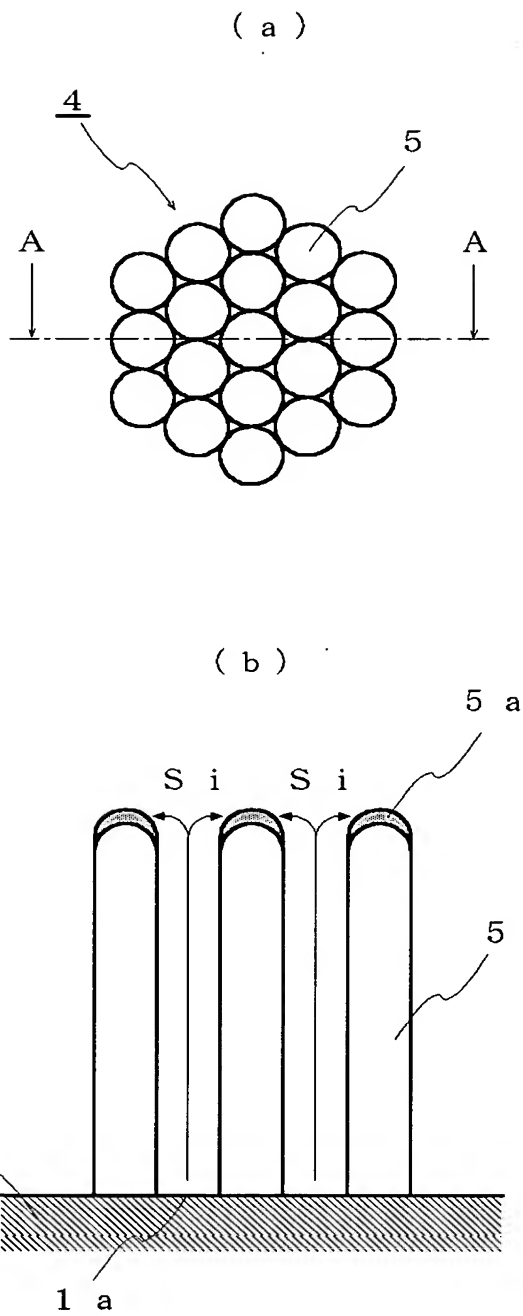


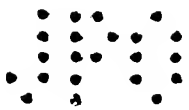
(c)



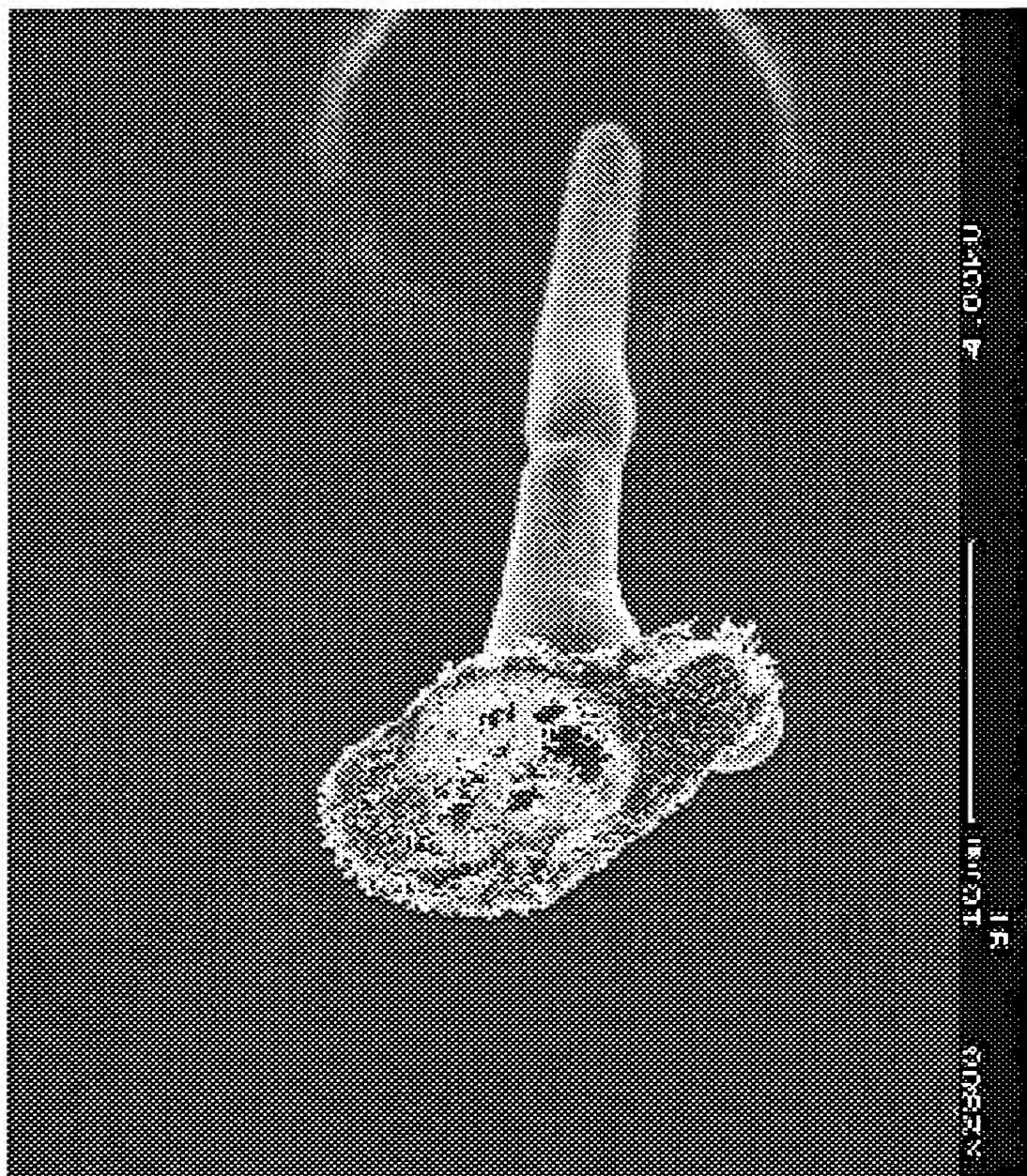


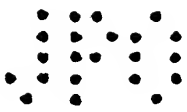
【図 2】





【図 3】





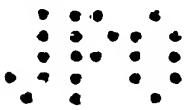
【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 VLS反応を用いたCVD法ではウール状になってしまい実現が困難であった、成長方向の揃った複数のナノワイヤーから構成されるナノファイバーの作製方法を提供する。

【解決手段】 自己組織化を用いたナノファイバーの作製方法であって、基板1の表面に、基板1と同じ元素から構成される微結晶粒子2を載置する工程と、真空下で、基板1の表面が融解する温度にまで基板1を加熱する工程と、を有し、基板1の表面は、結晶面であり、加熱工程では、微結晶粒子2を載置した結晶面に表面偏析を生じさせることにより、基板1から供給された元素により複数のナノワイヤー5を成長させ、茎状構造を有するナノファイバー4を形成させる。

【選択図】 図1



認定・付加情報

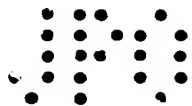
特許出願の番号	特願 2 0 0 1 - 0 0 9 5 8 7
受付番号	5 0 1 0 0 0 6 0 6 8 5
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0 0 9 2
作成日	平成 1 3 年 1 月 1 9 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成13年 1月18日

次頁無

【書類名】 出願審査請求書
【あて先】 特許庁長官殿
【出願の表示】
【出願番号】 特願2001- 9587
【請求項の数】 7
【請求人】
【識別番号】 399014484
【氏名又は名称】 ヴィジョンアーツ株式会社
【代理人】
【識別番号】 100110652
【弁理士】
【氏名又は名称】 塩野谷 英城
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 069454
【納付金額】 98,300円



認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 1 - 0 0 9 5 8 7
受付番号	5 0 8 0 0 0 2 6 0 6 9
書類名	出願審査請求書
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 2 0 年 1 月 1 5 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成20年 1月 9日

・
・
・
・

・
・
・
・